

Artículo
Recibido 15-09-2016
Aceptado 22-12-2016

EVALUACIÓN HIGROTÉRMICA Y ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO ESCOLAR PERTENECIENTE AL PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS, EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN, ARGENTINA.

A HYGROTHERMAL AND ENERGY EVALUATION OF A SCHOOL BUILDING BELONGING TO THE "700 SCHOOLS" NATIONAL PROGRAM, IN THE METROPOLITAN AREA OF SAN JUAN, ARGENTINA.

MARÍA GUILLERMINA RÉ
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de
Arquitectura, Urbanismo Diseño.
Universidad Nacional de San Juan.
San Juan, Argentina
guillerminare@gmail.com

IRENE BLASCO LUCAS
Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat. Facultad de
Arquitectura, Urbanismo Diseño.
Universidad Nacional de San Juan.
San Juan, Argentina
iblasco06@gmail.com

CELINA FILIPPÍN
CONICET
Santa Rosa, La Pampa, Argentina
cfilippin@cpenet.com.ar

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento higrotérmico y energético anual de un edificio escolar perteneciente al Programa Nacional 700 Escuelas, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. Para ello, se efectúa el cálculo estacionario aplicando las Normas IRAM y se procesan los monitoreos realizados en tres momentos claves de los años 2013 y 2014, con el edificio en condiciones reales de ocupación, los cuales se relacionan con lecturas diarias de consumo energético. Adicionalmente, se estudian los niveles de confort en tres aulas mediante el método Fanger, determinando con un software específico los índices PMV y PPD. Por último, se computan los consumos históricos eléctricos y de gas, y se calculan los valores por unidad de superficie, que se comparan con antecedentes nacionales y estándares internacionales. El análisis llevado a cabo, a partir de la consideración de datos teóricos y empíricos, permite concluir que con un consumo anual promedio de 88 kWh/m² el edificio cumple estándares internacionales de eficiencia energética escolar, sin embargo, su desempeño térmico es deficiente en las estaciones frías y cálidas, con ambientes que escapan de la zona de confort gran parte del tiempo.

Palabras clave

Evaluación higrotérmica, evaluación energética, confort térmico, edificio escolar

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the annual hygrothermal and energy behavior of a school building belonging to the "700 Schools" National Program in the Metropolitan Area of San Juan, Argentina. To this end, stationary state calculations were made using IRAM standards. Monitoring was performed at three key times during the years 2013 and 2014 with the building under real occupation conditions. This data was processed and related to daily energy consumption readings. Additionally, comfort levels in three classrooms were studied using the Fanger method, and PMV and PPD indices were determined with a specific software. Finally, historical electricity and gas consumption were computed, and values per unit area were calculated, which were compared with national data and international standards. The analysis carried out, based on theoretical and empirical data, supports the conclusion that with an average annual consumption of 88 kWh/m² the building meets international standards of school energy efficiency. However, its thermal performance is deficient in cold and warm seasons, as evidenced by rooms that are outside the comfort zone most of the time.

Keywords

Hygrothermal assessment, energy assessment, thermal comfort, school building

INTRODUCCIÓN

El gobierno nacional ha ejecutado, entre el año 2004 y el 2008, el "Programa Nacional 700 Escuelas" (PN700E), destinado a la construcción de edificios nuevos o sustitución de existentes. Dentro de este marco, existe en el país un total de 710 nuevos establecimientos, construidos y en funcionamiento, siendo 24 los erigidos en la Provincia, de los cuales 8 se encuentran en el Área Metropolitana de San Juan (AMSJ).

El análisis de consumos energéticos en tipologías escolares convencionales a partir de auditorías energéticas, mediciones higrotérmicas y datos teóricos surgidos del cálculo de la demanda energética, constituye un tema abordado por diversos grupos de investigación en las últimas décadas. En Argentina, se ha llevado a cabo un estudio en escuelas de Neuquén (Ne) y Buenos Aires (BsAs), en el cual se calculan los consumos teóricos en relación a la superficie cubierta construida climatizada, obteniendo promedios de 132 kWh/m²/año y 135 kWh/m²/año, respectivamente (San Juan, Hoses y González, 2000). Los valores obtenidos en el trabajo oficial de indicadores tendientes a una posible intervención para el reciclado edilicio y para la nueva arquitectura educacional. Asimismo, en Chaco, una investigación busca conocer el comportamiento energético de dos edificios escolares de Nivel Inicial, a partir del análisis comparativo de cuatro auditorías energéticas de temperatura, humedad relativa e iluminancia (Boutet *et al.*, 2011). Los resultados indican que independientemente de la tecnología constructiva implementada y del período histórico de ejecución del edificio, los espacios interiores son susceptibles de sobrecalentamiento a causa del ingreso de irradiación solar directa a través de las aberturas orientadas hacia el Noreste y Noroeste, incluso en días frescos de otoño, lo cual incrementa la sensación de desconfort y el consecuente consumo energético para climatización.

A nivel internacional, una investigación desarrollada en Israel, menciona que en climas cálidos y templados, las grandes fuentes de calor internas que normalmente se encuentran en los edificios escolares impiden alcanzar el confort térmico sin refrigeración activa en verano, pero no son suficientes para eliminar la necesidad de calefacción en invierno. El uso del aire acondicionado empobrece la calidad del aire, mientras que la ventilación natural provoca pérdidas de energía no controladas (Becker, Goldberger y Paciuk, 2007).

Por otro lado, existen estudios experimentales que relacionan el rendimiento escolar en función del confort térmico, destacando la importancia de establecer condiciones interiores adecuadas para el desarrollo de un correcto proceso de enseñanza-aprendizaje. El trabajo realizado en las aulas por Wargocki y Wyon (2006), permitió medir la influencia de las temperaturas elevadas en los ámbitos de estudio. Los resultados indicaron un rendimiento óptimo para las distintas actividades, a una temperatura de 20°C; y una disminución del rendimiento en un 30%, en temperaturas de 27°C a 30°C. Las temperaturas del aula fueron manipuladas mediante los sistemas de refrigeración disponibles, manteniendo todos los demás factores constantes en la medida de lo posible.

Hasta el presente, se ha registrado escasa información sobre el tema en la provincia de San Juan (Ré, Blasco Lucas y Filippin, 2015) y existe un total desconocimiento sobre cómo se comportan los edificios escolares en la actualidad. El objetivo de esta investigación es, en ese sentido, evaluar el comportamiento higrotérmico y energético, de un edificio escolar diseñado y construido dentro del PN700E, seleccionado como caso de estudio, y conocer las condiciones de confort térmico de aulas específicas, durante los períodos monitoreados con la escuela en situación normal de ocupación.

CASO DE ESTUDIO

El Colegio Provincial de Rivadavia es una institución de gestión Estatal de Nivel Secundario, que comenzó a funcionar en agosto del año 2008. Perteneció al PN700E y posee las características de diseño y constructivas de los edificios de este tipo, sugeridas en el Manual de Proyecto (PN700E, 2004) de dicho Programa.

Características Edilicias: El establecimiento posee un sector administrativo, dos zonas de aulas, laboratorio, centro de recursos, sala informática y salón de usos múltiples (SUM), además del área de servicios (Figura 1). Los accesos están jerarquizados y se comunican expeditamente con las circulaciones semicubiertas (Figuras 2, 3 y 4). El edificio tiene una superficie cubierta de 1197m² y una superficie útil de 1002m², con un volumen de masa relativo de 10,21% y una superficie relativa de aberturas de 24,85% (Tabla 1).

Características de la tecnología constructiva: La envolvente es de mampostería de ladrillón de 30cm, con terminación exterior de revoque grueso planchado. Las cubiertas superiores difieren en su materialidad: para las aulas se utiliza losa inclinada con terminación de baldosa cerámica; para las galerías, administración y servicios, losa plana; y para el SUM, estructura metálica con cubierta de chapa. La carpintería es metálica y posee parasoles en las orientaciones norte y oeste.

Equipamiento: Para calefacción, se cuenta con estufas a gas tiro balanceado en todos los espacios administrativos y de estudio. Para refrigeración, se dispone de dos ventiladores de pared por aula, y ventiladores de techo en los demás espacios. Solo hay un aire acondicionado, que se ubica en el centro de recursos. El equipamiento para climatización se indica en la Figura 1.

Características de uso: Los horarios de clase son dos, el turno mañana que funciona de 8h a 13h, y el turno tarde, de 13h a 18h. Los días sábados se desarrollan actividades especiales. Además, el colegio cuenta con guardias nocturnas de 19h a 7h y personal de limpieza de 7.30h a 18.30h.

Ubicación y clima: El edificio se encuentra localizado en un medio urbano de uso residencial, en el Departamento de Rivadavia, del AMSJ. La ciudad forma parte de la región cuyana, al centro oeste de la Argentina, Latitud -31°6', Longitud -68°5', y 615m sobre el nivel del mar; pertenece a la Zona III (Templada Cálida), Subzona "a", según la Norma IRAM 11603. El clima es árido seco con grandes amplitudes térmicas diarias y estacionales (Tabla 2).

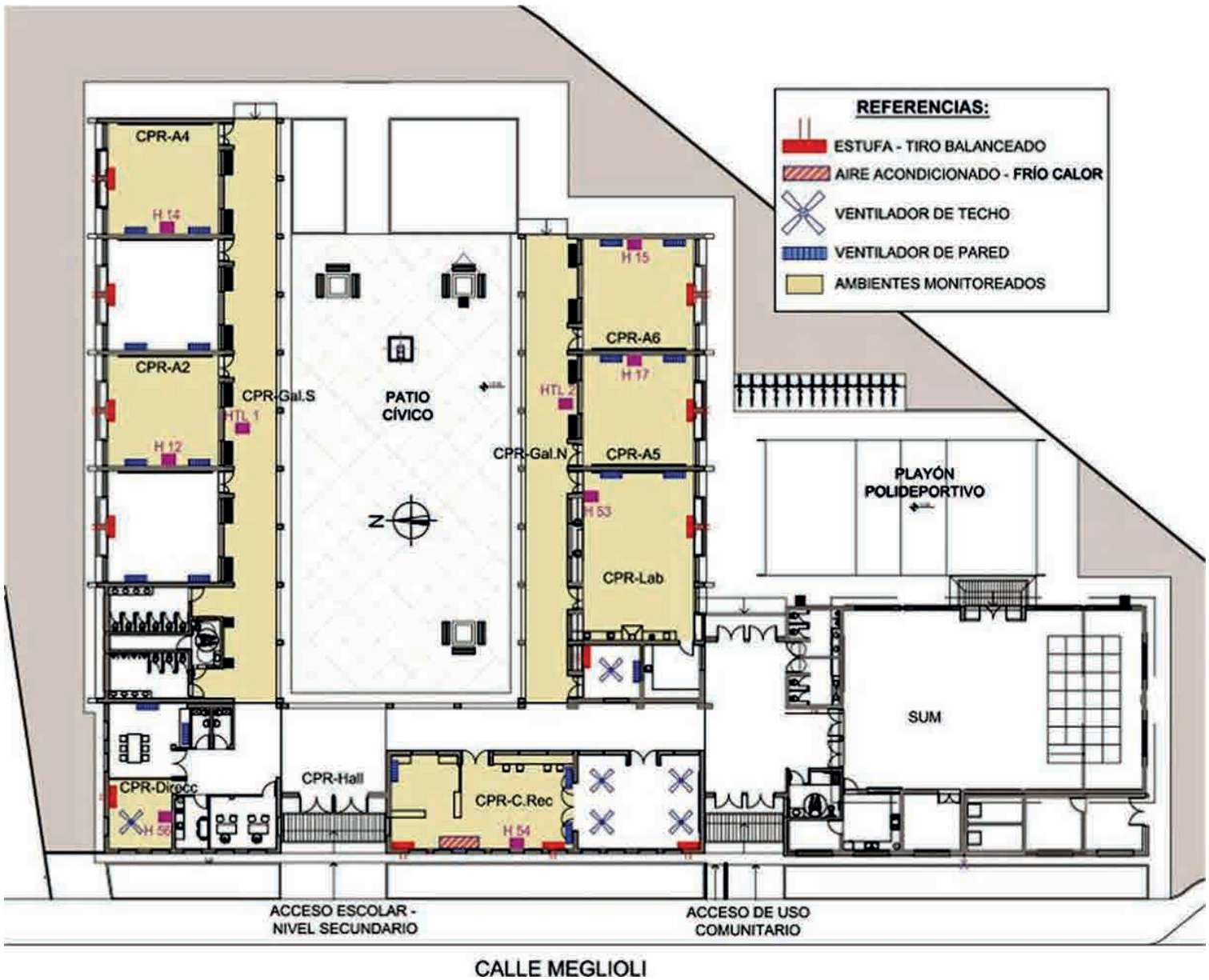


Figura 1. Planta del Colegio Provincial de Rivadavia. Fuente: Elaborada por la autora sobre plano digital suministrado por Inversión Educativa, Ministerio de Educación.



Figura 2. Acceso nivel secundario. Figura 3. Acceso comunitario y SUM. Figura 4. Circulaciones semicubiertas del sector aulas. Fuente: Fotografías tomadas por la autora.

Tabla 1. Características edilicias. Fuente: Elaboración de las autoras con datos de www.tutiempo.net.

CARACTERISTICAS EDILICIAS	UNIDAD	VALOR
Sup Cubierta:	m ²	1197
Sup Semicubierta:	m ²	464
Sup Total:	m ²	1661
Sup Util - Interior:	m ²	1002
Factor de Forma	m ⁻¹	0,70
FAEP (Esteves, et al., 1997)		1,81
Sup. Rel. Aberturas (Puert. y Vent.)	%	24,85
Vol. Masa Relativo	%	10,21
Volumen Interior	m ³	4279
Carga de Calefacción Anual (Q _{cal})	kWh	77433
Orientacion Preponderante		Nor-Sur
Orientacion Fachada Ppal.		Oeste
Ventilación cruzada		SI

Tabla 2. Principales parámetros climáticos. Fuente: Elaboración de las autoras con datos de www.tutiempo.net.

PARAMETROS CLIMATICOS	UNIDAD	VALOR		
		ANUAL	INVIERNO Julio	VERANO Enero
Tº Media	ºC	18,2	8,4	27,1
Tº Media Máxima	ºC	27,1	18,1	35,2
Tº Media Mínima	ºC	10,2	-0,5	19,7
Humedad Relativa	%	43,7	48,5	43,6
Amplitud Térmica Media	ºC	17,1	18,6	15,5
Radiación Media sobre Superficie Horizontal	kWh/m ²	5,4	4,1	6,1
Velocidad Media Viento	km/h	13,3	11,0	16,3

METODOLOGÍA

La evaluación en régimen estacionario del edificio se realiza aplicando los procedimientos sugeridos en las Normas IRAM 11601, 11604, 11605 y 11659-2. Para ello se utilizan las planillas programadas KG-MOD (Blasco Lucas, 2013), las cuales posibilitan el cálculo simultáneo y el análisis comparativo de la Transmitancia Térmica (K, en la denominación argentina; U en el ámbito internacional) de los distintos elementos que conforman la envolvente, el coeficiente volumétrico de calefacción (G_{cal}), la carga térmica de calefacción anual (Q_{cal}), la carga térmica de refrigeración (Q_R) con su coeficiente volumétrico (G_R). Los valores obtenidos se comparan con los máximos admisibles recomendados por las Normas.

Las mediciones se llevaron a cabo en condiciones reales de uso por períodos de 15 a 20 días corridos (Tabla 3), con lecturas de temperatura (°C) y humedad relativa (HR%) cada 15 minutos. Para ello se utilizaron *data-loggers* tipo HOBOs U12, cuya exactitud es de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ en las mediciones de temperatura, y de $\pm 2,5\%$ en las de humedad relativa. Los datos climáticos exteriores se registraron con una estación meteorológica tipo DAVIS localizada en el techo del Instituto de Energía Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (Pontoriero y Hoesé, 2013-2014). Los datos recolectados se procesaron aplicando el Programa de Mediciones Higrotérmicas y Lumínicas (PROMEDI-HTL) (Blasco Lucas, 2013), el cual permite realizar el análisis comparativo numérico y gráfico. Durante los períodos monitoreados se relevaron, diariamente e *in-situ*, los consumos eléctricos y de gas. Los valores se relacionaron con las medias diarias de temperatura exterior y de tres aulas seleccionadas por su diferente ubicación y orientación (A2, A4 y A6).

Adicionalmente, se estudian los niveles de confort en dichas aulas, con el empleo del programa de cálculo del PMV (Valor Medio Predicho) y PPD (Porcentaje de Personas en Disconfort), de Gonzalo (2003), desarrollado según el procedimiento indicado en Santamouris y Asimakopoulou (1996). Los índices se basan en los publicados en la Norma ISO 7730 (2005) para la evaluación del confort térmico en un ambiente. A los valores obtenidos se los compara con los resultados de una encuesta realizada en las aulas, en días puntuales de invierno y verano; la misma es una adaptación para la tipología escolar de la diseñada por Kuchen (2008), y permite medir la variable nivel de confort térmico a partir de preguntas cerradas, estructuradas hacia juicios valorativos.

Para el análisis de los consumos eléctricos y de gas históricos que tuvieron lugar desde enero de 2009 hasta diciembre de 2014, se aplican técnicas estadísticas en series mensuales. Con los valores obtenidos se calculan los índices de consumo por unidad de superficie y se los compara con estándares internacionales y nacionales.

ANÁLISIS TÉRMICO-ENERGÉTICO ESTACIONARIO

Los resultados del análisis de las propiedades térmicas de los elementos que conforman la envolvente, se muestran en la Tabla 4, que exhibe para cada componente la comparación de los K con los valores máximos admisibles (K_{adm}) de invierno y verano recomendados por la Norma IRAM 11605 para la zona, en el nivel medio de calidad constructiva (B). Puede observarse que la mayoría de los elementos superan dichos valores, lo cual denota que no alcanzan la calidad constructiva sugerida. Únicamente el techo metálico con K= 0,37 W/m²K en verano y K= 0,38 W/m²K en invierno, presenta valores inferiores, con diferencias positivas del 23% y 54%.

Tabla 3. Períodos de medición. Fuente: Elaboración de las autoras

Período	Fecha		Condiciones de uso	Edificio	Cantidad			Climatización Mecánica
	Inicio	Final			Días	Horas	Registros	
1	25/7/2013	13/8/2013	Normal	En uso	19	451	1857	Con
2	1/11/2013	15/11/2013	Normal	En uso	14	336	1344	Con
3	27/3/2014	17/4/2014	Normal	En uso	21	507	2029	Parcial

Tabla 4. Propiedades térmicas de los componentes constructivos y térmico-energéticos del edificio. Fuente: K Max Adm en Zonas III y IV, calidad B construcción (Norma IRAM 11605, 1996, modificación N°1, 2002); QR Adm y GR Adm - Tablas 1B y 2B (IRAM 11659-2, 2007); Gcal Admisible (Norma IRAM 11604, 2001).

COMPONENTE y MATERIAL	VERANO				INVIERNO			
	K	K Adm	K Dif		K	K Adm	K Dif	
	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[%]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[W/m ² °C]	[%]
Muro CPR- Ext. Ladrillon	2,02	1,25	-0,77	-62	2,02	1,00	-1,02	-102
Muro CPR- Ext. Piedra	2,25	1,25	-1,00	-80	2,25	1,00	-1,25	-125
Techo CPR- Losa Inclinada	1,41	0,48	-0,93	-194	1,56	0,83	-0,73	-87
Techo CPR- Losa Plana	1,51	0,48	-1,03	-214	1,68	0,83	-0,85	-102
Techo CPR- Metálico	0,37	0,48	0,11	23	0,38	0,83	0,45	54
Puerta: Chapa y Vidrio	5,77	1,25	-4,52	-361	5,77	1,00	-4,77	-477
Ventana: Chapa y Vidrio Simple	5,69	1,25	-4,44	-355	5,69	1,00	-4,69	-469
CARGAS TERMICAS	de Refrigeración (Q _R)				de Calefacción anual (Q _{cal})			
	Q _{R adm}	Q _R	Diferencia Q _R			Q _{cal}		
	[W]	[W]	[W]	%		[kWh]		
	83889	212666	-128778	-154		77433		
COEFICIENTES VOLUMÉTRICOS	de Refrigeración (GR)				de Calefacción anual (Gcal)			
	G _{R adm}	G _R	Diferencia G _R		G _{cal adm}	G _{cal}	Diferencia G _{cal}	
	[W/m ³]	[W/m ³]	[W/m ³]	%	[W/m ³ °C]	[W/m ³ °C]	[W/m ³ °C]	%
	19,75	49,70	-29,95	-152	1,19	2,24	-1,05	-88,18

Tabla 5. Datos utilizados para el cálculo de los índices PMV y PPD. Fuente: Elaboración de las autoras; (*) valores de la Organización Mundial de la Salud.

Aula	Datos anatómicos			Actividad metabólica (MET)	Nivel de vest. JULIO (Clo)	Nivel de vest. NOVIEM. (Clo)	Nivel de vest. ABRIL (Clo)	Velocidad del aire (m/s)	
	Edad (años)	Peso (Kg) (*)	Talla (cm) (*)					Días laborales	Días no laborales
2	13	43	159	70	1,4	0,6	0,8	0,15	0,1
4	15	49	167						
6	17	55	169						

Los valores obtenidos para G_{cal} y G_R (Tabla 4), también superan a los admisibles sugeridos por las Normas IRAM 11604 y 11659-2, en -88,18% (Dif G_{cal}) para calefacción y en -152% (Dif G_R) para refrigeración. El resultado de Q_{cal} es de 77.433 kWh/año, considerando Grados-Día base 18 (GD-18), que para la ciudad de San Juan es de 1096 °C/día (IRAM 11603, 2012), y excluyendo las ganancias internas y la radiación solar incidente, como lo estipula la Norma 11604. Para refrigeración, dichas ganancias son incluidas en el cálculo, porque así lo establece la Norma 11659-2; el valor Q_R obtenido es de 212.666 W y excede al admisible en -154%.

MONITOREO HIGROTÉRMICO Y CONSUMOS ENERGÉTICOS

El monitoreo higrotérmico se realizó en diferentes estaciones del año conforme lo detallado en la Tabla 3. En los planos de la Figura 1 se indican los espacios monitoreados, la ubicación de los sensores y el equipamiento para calefacción y refrescamiento que posee el colegio. Se adoptan como umbrales que definen la zona de confort los contemplados en la ISO 7730 (2005) para una categoría C ($PPD \leq 15\%$, $-0,7 \leq PMV \leq +0,7$) en espacio áulico, siendo para verano entre 22°C y 27°C y para invierno entre 19°C y 25°C. En las gráficas de consumo, se resaltan los fines de semana con recuadro color verde.

Las mediciones de invierno (período 1) se ven representadas en la Figura 5, donde se observa que los ambientes permanecen parcialmente dentro de la zona de confort. Los valores más bajos de temperaturas mínimas se registran en las aulas A2 (11,2°C) y A4 (11,5°C), cuyo acceso es a través de una galería al sur y cuenta con ventanas al norte, con parasoles cerrados en un 50%. El consumo promedio de gas fue 314 kWh/día y el eléctrico de 123 kWh/día, sin demasiada diferencia durante los fines de semana (Figura 6), lo cual indicaría que se utiliza la calefacción los sábados cuando se llevan a cabo las actividades extracurriculares, y que los domingos algunos artefactos permanecen encendidos.

El monitoreo de época cálida (período 2) evidencia que los espacios permanecen fuera de la zona de confort por altas temperaturas la mayoría del tiempo (Figura 7). Las menores temperaturas interiores se registran entre las 7h y las 10h, como consecuencia de la ventilación natural. El CPR-CRec posee la temperatura mínima más baja del período (20,2°C), siendo el único espacio que cuenta con aire acondicionado. Las temperaturas más elevadas se presentan en las aulas, con valores que rondan entre 35°C (CPR-A4) y 35,8°C (CPR-A6); en ellas las medias diarias de temperatura son coincidentes y estuvieron el 54% del tiempo fuera de la zona de confort (Figura 8). Se observa una débil relación de la variación de temperaturas con el consumo eléctrico, cuyo promedio diario fue de 123 kWh/día, mientras que el de gas fue de 12 kWh/día.

En el período 3, correspondiente a las mediciones de otoño (Figura 9), los ambientes se encuentran en condiciones de confort los primeros 15 días del período. Las temperaturas promedio registran un mínimo de 23°C (CPR-Direcc) y un máximo de 24,3°C (CPR-Lab); mientras que las aulas oscilan levemente entre los 23,5°C (CPR-A6) y los 23,8°C (CPR-A4). Entre los días 10 y 14, la temperatura exterior desciende y se detecta el funcionamiento de equipos para calefacción a partir del lunes 15, con un notable incremento del nivel de consumo de gas en días hábiles, que alcanza los 84 kWh/día. El consumo eléctrico medio diario tiene un comportamiento muy aleatorio, variando entre 51,3 kWh/día y 181,8 kWh/día, y disminuyendo levemente los fines de semana respecto al promedio (Figura 10).

CONFORT TÉRMICO EN AULAS

Los índices PMV y PDD fueron calculados en las horas de uso del edificio, de acuerdo a los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos en el monitoreo en las aulas 2, 4 y 6, y considerando los datos detallados en la Tabla 5. Los valores de Clo, se definieron en base a la observación directa realizada en los días específicos. La velocidad del viento fue determinada según el ábaco Kukreja (Yáñez Parareda, 1982).

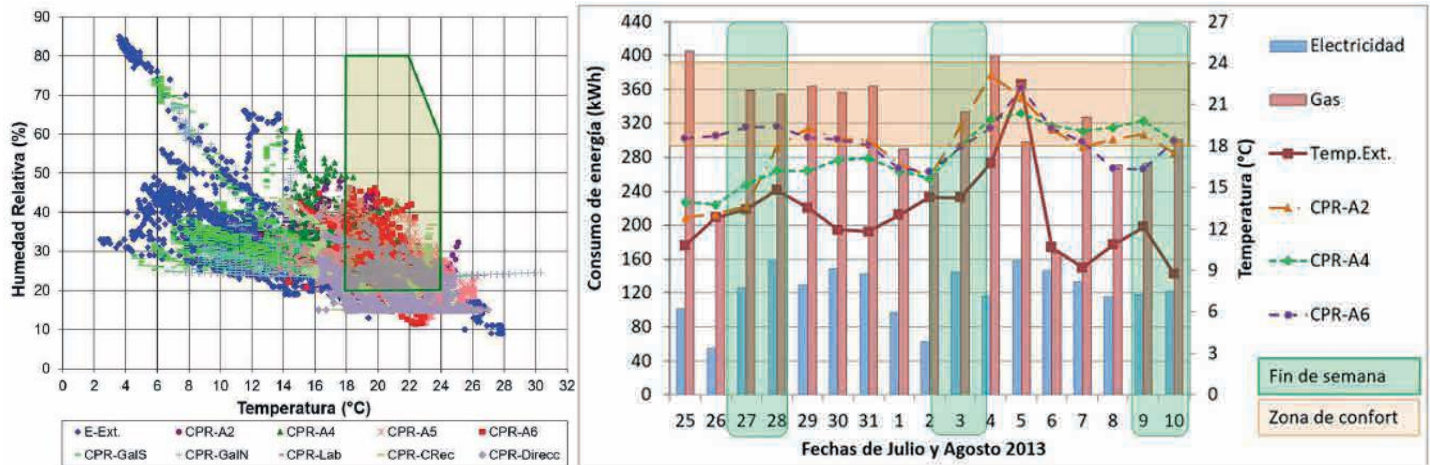


Figura 5. Dispersión higrotérmica en el período 1. Figura 6. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

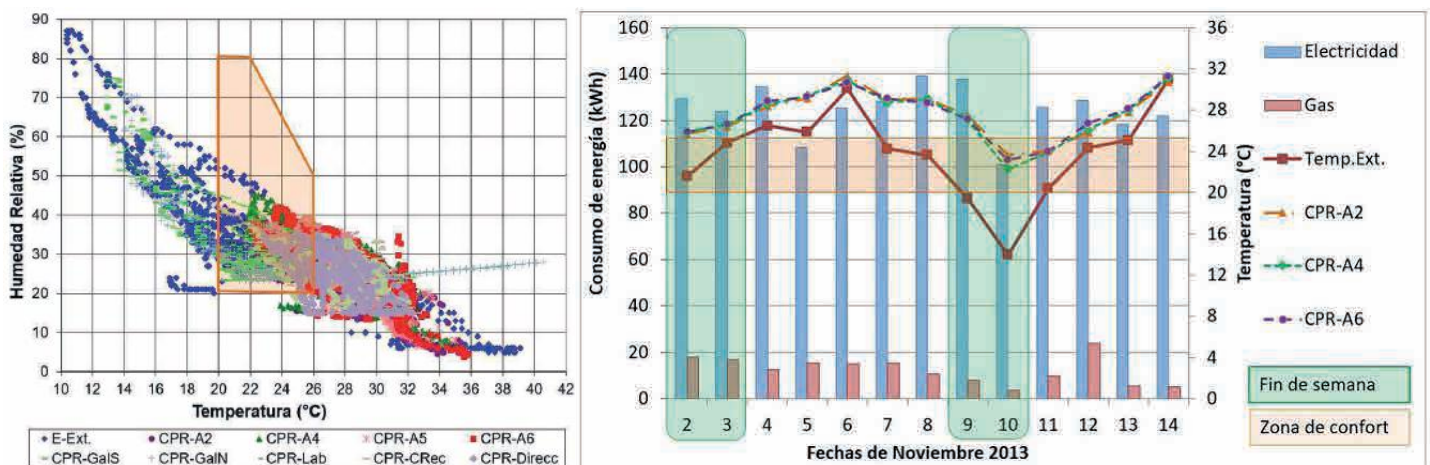


Figura 7. Dispersión higrotérmica en el Período 2. Figura 8. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

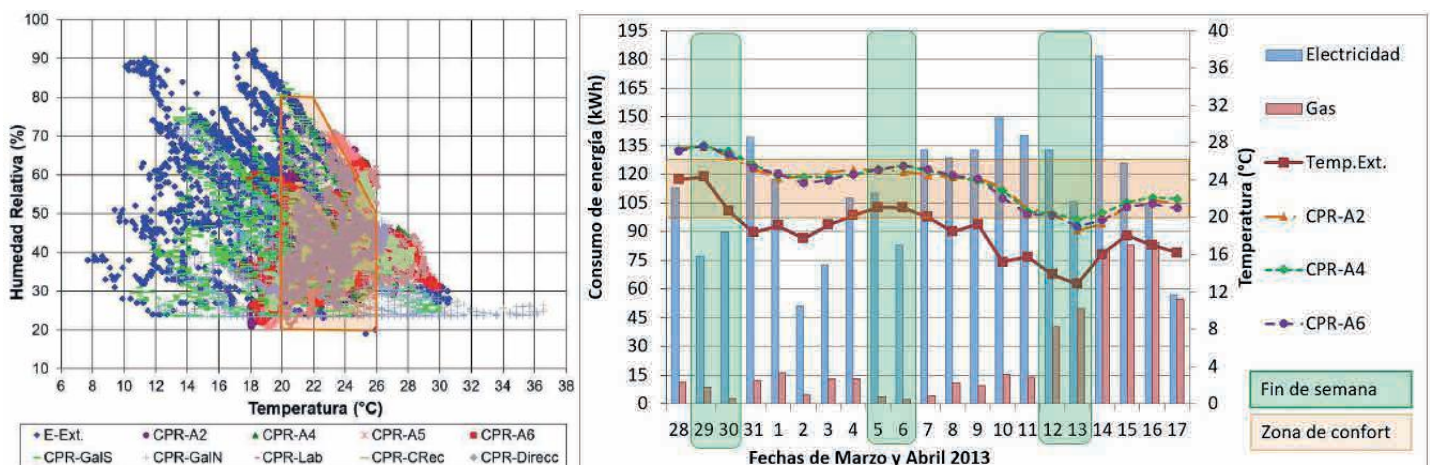


Figura 9. Dispersión higrotérmica en el período 3. Figura 10. Consumos diarios de energía y temperaturas medias. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

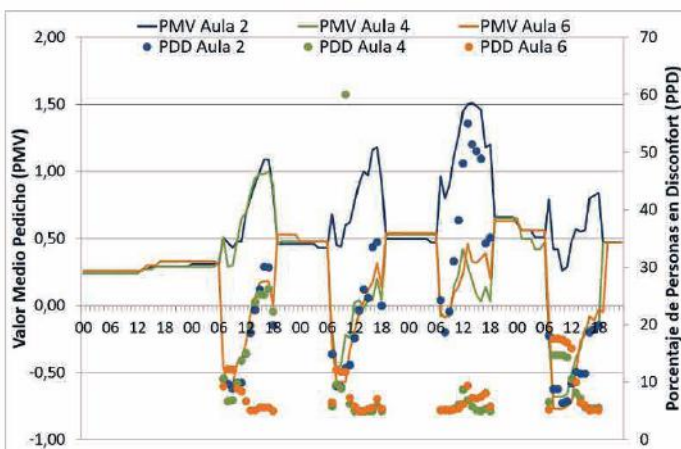
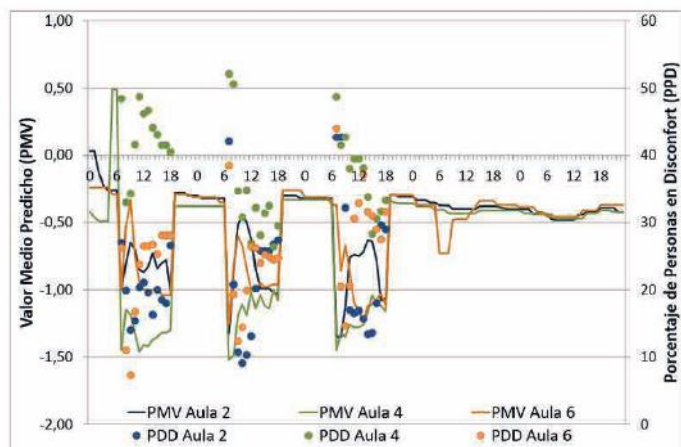


Figura 11. Índices PMV y PPD del 31/07/13 al 05/08/13. Figura 12. Índices PMV y PPD del 03/11/13 al 07/11/13. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

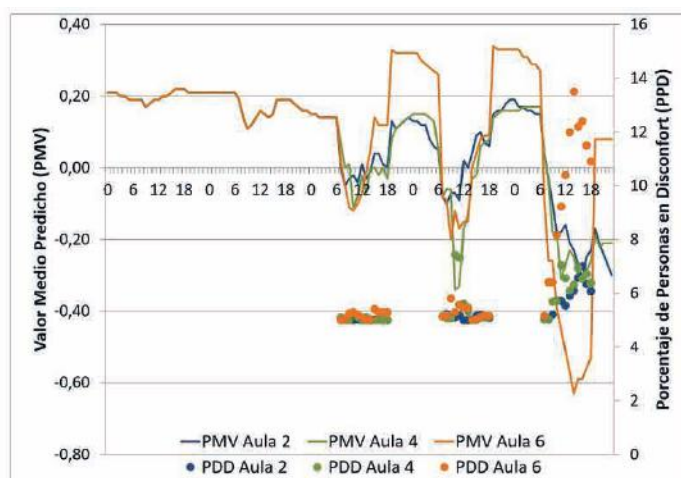


Figura 13. Índice de PMV y PPD del 06/04/14 al 10/04/14. Fuente: Gráfico elaborado por las autoras.

Para la estación fría, se tomó el período comprendido desde el miércoles 31 de julio hasta el lunes 5 de agosto de 2013 (Figura 11). El índice PMV, en este intervalo, oscila entre -0,50 y -1,50 en condiciones reales de uso, valores que indicarían un ambiente entre Ligeramente Fresco y Fresco (ISO 7730); situación que estaría presente en el 64% de las horas de clase en el aula 2. Las condiciones del aula 4 resultan ser las más desfavorables, con un ambiente que prevalece fresco la mayoría del tiempo, en acuerdo con la mayor exposición exterior de su envolvente vertical. El aula 6, con ventanas al sur y galería al norte, alcanza la valoración de un ambiente Térmicamente Aceptable un 36% de las horas de clase. El índice PDD del período oscila entre un 10% y un 50%. Los índices se corresponden con las temperaturas medias diarias, en las cuales prevalecen los registros ubicados por fuera de la zona de confort. Durante el fin de semana, sin cargas internas y con un valor más bajo de velocidad de viento, el índice PMV se mantiene en -0,50.

La encuesta para invierno, llevada a cabo el día 13 de agosto, permite conocer las expresiones de los usuarios en un momento específico de la jornada. El aula 2 fue encuestada a las 8:30h, cuando se registraba una temperatura interior de 15,9°C (HR 46%). Del total de 20 alumnos y una docente, el 43% indica tener frío, el 24% mucho frío y el 33% aparenta estar en confort térmico. La encuesta para el aula 4, se desarrolló a las 8:45h (T° 16,6°C y HR 49%), momento en que el 45% de los alumnos expresan tener frío, el 41%, mucho frío y únicamente el 14% aparenta estar en confort térmico. Los resultados obtenidos, en coincidencia con los datos calculados para PMV y PDD, la muestran como el aula con la mayor cantidad de usuarios en disconfort. Para el aula 6, con ventanas al sur y galería al norte, la situación cambia: a las 9:15h, con temperatura interior de 19,8°C (46% HR) de un total de 21 personas, el 38% indica tener frío y el 62% estar en confort térmico.

El intervalo para verano fue desde el domingo 3 al jueves 7 de noviembre de 2013 (Figura 12). El día lunes, el aula 6, alcanza un valor PMV mínimo de -0,50 que permite valorar el ambiente como Ligeramente Fresco, con un PPD = 10%; mientras que en las aulas 2 y 4 el PMV oscila entre 0,50 y 1,00 (Ligeramente Cálido y Cálido), con un valor de PPD en el aula 2 que llega al 30% entre las 16 y 17h. Durante el día miércoles se presenta un ascenso de la temperatura exterior, lo cual agudiza la situación térmica en el aula 2 con un ambiente Cálido y valores de PPD que trepan hasta el 55% a las 12h. Es evidente que la orientación norte más las cargas internas, por el uso propio de la actividad en la escuela, condicionan el comportamiento térmico del ambiente interior, a lo que se suma que esta aula no cuenta con ventiladores, porque se halla fuera de funcionamiento. Las aulas 4 y 6 muestran valores de PMV que indican Bienestar Térmico (Gonzalo, 2003), con un PPD inferior al 10%.

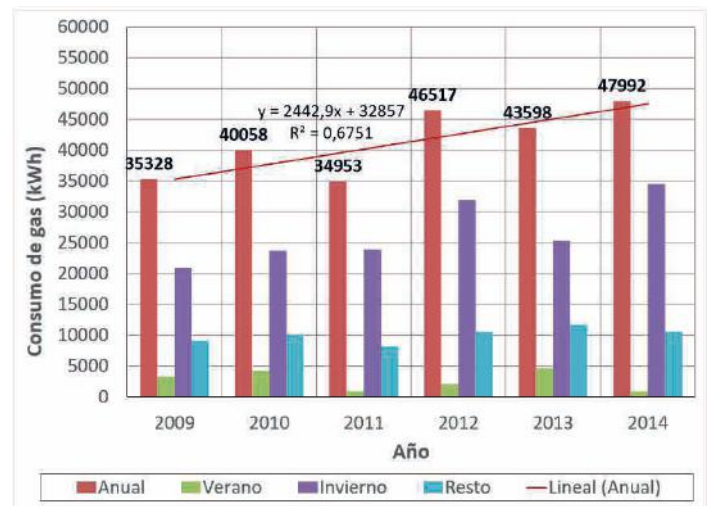
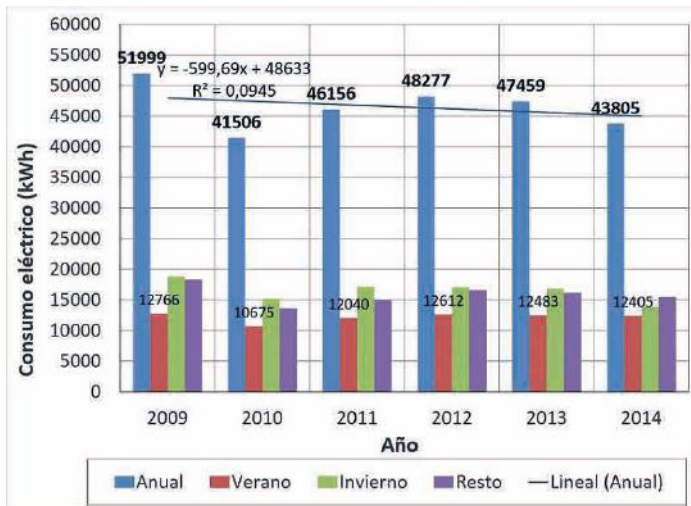


Figura 14. Electricidad; valores medios anuales y estacionales. Figura 15. Gas Natural; valores medios anuales y estacionales. Fuente: Gráficos elaborados por las autoras.

Para esta época, la encuesta se administró el 7/11/2013 en la mañana y el 13/11/2013 en la tarde. El aula 2 solo fue encuestada a las 11h, cuando la temperatura interior indicaba 26,8°C (21% HR); de 31 usuarios el 32% dice tener calor, y el 32% mucho calor y el 35% estar en confort térmico. La encuesta en el aula 4, a las 11:15h (T° 27°C y 22% HR), arroja el siguiente resultado: 53% de usuarios con calor y 47% en confort térmico; mientras que a las 15:45h (T° 28°C y 25% HR) el 21% indica tener calor, el 55% mucho calor y solo el 24% estar en confort térmico. En el aula 6 ocurre una situación similar: el 55% de los usuarios se encuentran en confort térmico a las 11:30h y solo el 28% a las 16:30h, con temperaturas interiores de 27,4°C y 29,7°C, respectivamente. Los resultados de las encuestas concuerdan con las estimaciones del PMV y PDD para el período.

Para otoño, los índices PMV y PDD fueron calculados entre el sábado 6 y el miércoles 10 de abril de 2014 (Figura 13). El día lunes, las tres aulas muestran índices parecidos durante las horas de clase que oscilan entre 0,18 y -0,18, indicando Bienestar Térmico con una temperatura promedio interior de 24,2°C, 20,2°C y 24,2°C para las Aulas 2, 4 y 6, respectivamente. Hacia el miércoles, acorde con un descenso de la temperatura en el exterior (mínima = 10°C), el PMV en el aula 6, con orientación hacia el sur, alcanza un valor de -0,60 durante las horas de clase, con un PDD de alrededor del 14%; el ambiente es Térmicamente Aceptable (Gonzalo, 2003).

CONSUMOS ENERGÉTICOS HISTÓRICOS

Se analizan los consumos energéticos históricos desde el primer año completo de actividad del establecimiento escolar (año 2009). Las gráficas muestran los valores medios anuales y estacionales de electricidad y gas expresados en kWh (Figuras 14 y 15). En ellas se observa que el invierno presenta una mayor demanda eléctrica, excepto en el año 2014 donde los consumos más elevados se manifiestan en la estación intermedia (marzo, abril, septiembre y octubre); también el uso de gas es significativamente mayor en los meses fríos, debido a que su principal utilización es para calefacción. La mayor demanda anual de gas se produce en 2014, con un valor de 47.992 kWh/año, equivalente a 5.759,06 m³.

El análisis estadístico muestra que para el consumo de energía eléctrica no existe una relación significativa entre las variables, mientras que para el gas la situación es otra: se evidencia un aumento del consumo a lo largo de los seis años, con un coeficiente de correlación de 0,821652, lo cual indica una relación estadísticamente fuerte.

El consumo total promedio para los 6 años analizados es de 87941 kWh/año, dando un valor de 88 kWh/m²/año; mientras que el promedio de gas es de 41408 kWh/año, con un valor de 41 kWh/m²/año. A nivel nacional, los valores obtenidos resultan inferiores a los publicados para edificios escolares en la provincia de La Pampa, cuyo clima es más riguroso (GD-18 = 1545°C/día); allí el consumo anual promedio para escuelas es de 105 kWh/m²/año (Filippín y De Rosa, 1996; 1997). Por otro lado, un estándar internacional (Sartori y Hestnes, 2006), surgido a partir del estudio de 60 casos residenciales y no residenciales, ubicados en nueve países

de distintos continentes, establece como índice de bajo consumo energético edilicio el valor de 70 kWh/m²/año destinado a calefacción y de 120 kWh/m²/año cuando se contempla el total de energía requerida. En consideración de estos valores, el edificio escolar evaluado se comporta eficientemente desde el punto de vista energético, pero sin llegar a alcanzar condiciones de confort aceptables en estaciones extremas de frío y calor, según el análisis higrotérmico y de confort desarrollado en este trabajo.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El consumo de gas asociado a la calefacción de ambientes presenta una tendencia creciente a lo largo de los años; con un promedio anual de 41408 kWh/año. La carga de calefacción anual (Q) calculada, según lo indica la Norma 11604, es de 77433 kWh/año; con estos datos se observa que el establecimiento consume aproximadamente un 54% de lo necesario para mantener una temperatura media de 18°C, lo cual coincide con los cálculos y las expresiones de confort para invierno, que indican que los usuarios no están en bienestar térmico.

En verano, la falta de equipos mecánicos como aires acondicionados, ocasiona que los locales presenten temperaturas elevadas que exceden por varios grados el umbral de confort. El consumo real de electricidad promedio en la época cálida es de 12163 kWh, con un índice por unidad de superficie de 12,14 kWh/m², mientras que el calculado en base a la Norma IRAM 11659 (2004 y 2007) asciende a 53,06 kWh/m², para un total de 250hs de refrigeración. El consumo real es incluso inferior al valor admisible recomendado por la Norma para la misma cantidad de horas (20,9 kWh/m²). Con estos datos se confirma la falta de confort térmico interior en los meses cálidos que provee el cálculo de PMV y PDD para el mes de noviembre.

CONCLUSIONES

La evaluación del comportamiento térmico a partir del análisis de datos teóricos (cálculo de índices PMV y PDD) y empíricos (monitoreos higrotérmicos y encuestas), permite concluir que el desempeño del edificio es deficiente en las estaciones frías y cálidas, con ambientes que escapan de la zona de confort la mayoría del tiempo. Esto se explica, tanto como consecuencia de una envolvente edilicia deficiente cuyos componentes no alcanzan los valores de transmitancia térmica recomendados por las normas IRAM, como por la falta de equipamiento de refrigeración en verano (aires acondicionados), y la discontinuidad en el uso de los calefactores en invierno. Lo último ocasiona que los ambientes pierdan calor durante la noche cuando los equipos se encuentran apagados y que no alcancen niveles de temperatura confortables en las horas de la mañana, previo al ingreso de alumnos.

El trabajo desarrollado ha logrado alcanzar sus objetivos y contribuye al avance del conocimiento, ya que permite

conocer la respuesta higrotérmica y energética de una tipología escolar ampliamente utilizada en la actualidad en la Provincia de San Juan, e identificar las características de diseño y constructivas que presentan problemas o disfunciones para el clima local.

Queda previsto para trabajos futuros elaborar propuestas de mejoramiento de la materialidad de la envolvente, que permitan cumplir con las recomendaciones de la normativa y llevar a cabo la simulación del edificio en régimen transitorio.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo forma parte de la Tesis doctoral de la Mag. Arq. María Guillermina Ré, del Doctorado en Arquitectura, Universidad de Mendoza, desarrollada bajo la dirección de la Dr. Celina Filippín y la co-dirección de la Dr. Irene Blasco Lucas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, Rachel; GOLDBERGER, Itamar y PACIUK, Mónica. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. *Building and Environment*, 2007, n°42, pp. 3261-3276.

BLASCO LUCAS, Irene. KG-MOD: Modelo de cálculo de K, G y Q. San Juan, Argentina: Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA), FAUD-UNSJ, 2013.

BOUTET, María Laura; HERNÁNDEZ, Alejandro; JACOBO, Guillermo; MARTINA, Pablo y CORACE, Juan José. Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de resistencia, en condiciones reales de ocupación. *AVERMA*, 2011, vol.15, pp. 05.29 - 05.36

FILIPPÍN, Celina y DE ROSA, Carlos. Análisis Morfológico, Tecnológico y Energético del Parque Educacional del Nivel Secundario de la Ciudad de Santa Rosa. En: *Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Mar del Plata*, 1996, pp. 02.25-02.28.

FILIPPÍN, Celina y DE ROSA, Carlos. Análisis Morfológico, Tecnológico y Energético del Parque Educacional del Nivel Inicial y Primario de la Ciudad de Santa Rosa. En: *Actas de la XVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar, Río Cuarto, Córdoba, Argentina*, 1997, vol.1 N°2, pp. 93-99.

GONZALO, Guillermo E. *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Programa para el cálculo de situación de confort: PMV y PPD. CEEMA, IAA, FAU, UNT. Editorial Nobuko. 2003.

ISO 7730. *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Switzerland, 2005.

KUCHEN, Ernesto. *Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäude*. PhD Thesis. Technische Universität Braunschweig. Institut für Gebäude- und Solartechnik, Der Andere Verlag, Tönning, Alemania, 2008.

PONTORIERO, Domingo y HOESÉ, Liliana. *Banco de datos meteorológicos*. IEE-FI-UNSJ. 2013-2014.

PROGRAMA NACIONAL 700 ESCUELAS (PN700E). *Manual de proyecto. Herramientas para el Programa Nacional 700 escuelas*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2004.

RE, Guillermina; BLASCO LUCAS, Irene y FILIPPÍN, Celina. Evaluación del comportamiento térmico de una escuela típica en la Ciudad de San Juan, Argentina. En: *Actas de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, 2015, vol. 3, pp. 05.35-05.46.

SAN JUAN, Gustavo; HOSES, Santiago; GONZALEZ, Daniel. Sensibilidad de variables edilicias y energéticas de tipologías edilicias escolares en dos situaciones regionales de nuestro país. *AVERMA*, 2000, vol.4, Art 07-29.

SANTAMOURIS, Matheos y ASIMAKOPOULOS, Dimosthénis (eds.) *Passive Cooling of Buildings*. James & James, 1996.

SARTORI, Igor y HESTNES, Anne Grete. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. *Energy and Buildings*, 2006, vol. 39, n° 3, pp. 249-257.

WARGOCKI, Pawel y WYON, David. Research report on effects of HVAC on student performance. *Revista ASHRAE*, 2006, n°48, pp. 22-28.

YÁÑEZ PARAREDA, Guillermo. *Energía Solar, edificación y clima*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid: 1982.